Lane Medical Library 1931

Kritik der Kolorimetrischen Blutzuckerbestimmung nach Crecelius-Seifert

---

Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Hessischen Ludwigs-Universität
zu Gießen

eingereicht von

Heinz Christ

aus Mainz

Gießen 1931

Gießener Studentenhilfe E. V.

Gedruckt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät zu Gießen.
Referent: Privat-Dozent Dr. Büttner.

Meinen lieben Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40154005_0092

I. Einleitung.

Die Bestimmung des Blutzuckers hat erst besondere Bedeutung gewonnen seit der Einführung des Insulins. Zu seiner Bestimmung wurden mehrere Methoden angegeben.

Die drei jetzt gebräuchlichsten sind die von Bang, Folin-Wu und die von Hagedorn-Jensen. Diese Methoden bestimmen den Blutzucker bis auf wenige mg % genau; ihre Ausführung ist aber nur mit entsprechenden chemischen Vorkenntnissen sowie vorheriger Übung ausführbar und auch mit verhältnismäßig großem Zeitverlust verbunden. Es lag daher sehr nahe, eine einfachere und schnellere Methode zur Blutzuckerbestimmung auf kolorimetrischer Basis zu suchen, die nicht nur in kleinen Laboratorien, sondern auch vom praktischen Arzt jederzeit ausgeführt werden kann. Es wurden zunächst verschiedene kolorimetrische Apparate angegeben, denen aber der Nachteil anhaftete, daß als Vergleichsmedium eine Substanz, z. B. Glas, benutzt wurde, das der Farbe der Blutzuckerlösung nur ähnlich war, so daß die Ablesung Schwierigkeiten machte und Ungenauigkeit zur Folge hatte. Oder es kam eine Vergleichssubstanz zur Anwendung, die nicht lichtbeständig war und oft erneuert werden mußte. Von Crecelius-Seifert (1) wurde nun nach dem Prinzip von Becher und Hermann (2) ein Kolorimeter angegeben, das als Vergleichsmedium ein Pikrinsäure-Pikraminsäuregemisch in Form eines Gelatine-Keiles enthält, der die beiden Bedingungen des gleichen Charakters mit der Vergleichslösung und die der Farbenbeständigkeit erfüllen soll. Die Reaktion der Blutzuckerbestimmung beruht auf der Reduktion der Pikrinsäure durch den Blutzucker zu Pikraminsäure, welch letztere in Verbindung mit NaOH je nach der vorhandenen Zuckermenge die Farbe der Ableseflüssigkeit bestimmt.

Auf Grund der Untersuchungen, die mit dieser Methode in der Inneren Abteilung des Stadtkrankenhauses Dresden-Johannstadt (Leiter: Obermedizinalrat Prof. Dr. Rostoski (3)) und in der Zeiß-Ikon A.G., Dresden, ausgeführt wurden, hat sich gezeigt, „daß der kolorimetrisch gefundene Wert sich praktisch mit dem durch die Analyse erhaltenen deckt".

Melka Jaroslav (4) findet, daß bei Paralleluntersuchungen der beiden Methoden „sich die Resultate sehr wenig unterscheiden

und auf Grund dessen sei der Apparat wegen der schnellen und einfachen Manipulation für die üblichen Untersuchungen empfehlenswert".

Dagegen kommt R. Wolfer (5) in der Schweizerischen Mediz. Wochenschrift 1930 Nr. 44 (siehe weiter unten) zu dem Ergebnis, daß die Methode „Crecelius-Seifert" unzuverlässig sei. Bei der Befolgung der beigegebenen Vorschriften hätten sich „keine auch nur annähernd richtige Werte ergeben". Die Resultate habe man auf Grund von 24 Vergleichsversuchen gewonnen (siehe auch Tabelle 10—11).

Da der kolorimetrische Apparat nach Crecelius-Seifert ohne weiteres recht praktisch erscheint, aber bis jetzt über seine Verwendungsmöglichkeit keine einheitlichen Ergebnisse vorliegen, haben wir über 500 Vergleichsversuche angestellt und die Methode eingehend geprüft.

II. Technik der kolorimetrischen Blutzuckerbestimmung

nach Crecelius-Seifert.

Die kolorimetrische Blutzuckerbestimmung wird folgendermaßen ausgeführt:

In ein Reagenzglas mit 1 ccm aqua dest. bringen wir 0,2 ccm, mit der Pipette aufgezogenes Patientenblut, fügen zu dem Blutwassergemisch 1 ccm gesättigte Pikrinsäure hinzu, und filtrieren nach kräftigem Umschütteln. Das gewonnene Filtrat wird mit 1,5 ccm 10%iger NaOH versetzt, zweimal über einer Gasflamme aufgekocht, nach Abkühlen in das Vergleichsröhrchen gebracht und dann unter Benutzung des Apparates der Blutzucker in mg % abgelesen.

Das zur Blutzuckerbestimmung notwendige Blut gewinnen wir durch Einstich in das Ohrläppchen oder besser in die Fingerkuppe, wobei die betreffenden Hautstellen vorher gut mit Alkohol und Äther abzuwischen sind. Das Messerchen des Schneppers soll möglichst 2—3 mm in die Haut eindringen, um ein rasches Fließen des Blutes zu gewährleisten. Bei Patienten, die erfahrungsgemäß zu schwach bluten, lasse man die Hände vorher etwa 10—15 Minuten in heißem Wasser baden, um eine reichlichere Durchblutung der Hand zu erreichen.

Zum Aufsaugen des Blutes verwendet man die dem Apparat beigegebene Pipette und zieht bis zur Marke 0,2 auf. Das Aufsaugen muß genügend rasch vor sich gehen, da sonst leicht Gerinnung eintritt; gleichzeitig ist darauf zu achten, daß sich keine Luftbläschen in der Blutsäule befinden.

Nach unseren Erfahrungen ist es allerdings besser, statt der 0,2-ccm-Pipette, 2 Stück von 0,1-ccm-Hagedorn-Jensen-Pipetten zu nehmen und beide nacheinander in dasselbe Reagenzglas auszublasen. Ein Gerinnen haben wir bei diesen Pipetten auch bei langsamem Aufziehen kaum beobachtet. Nach dem Ausblasen sauge man noch mehrmals das Blutwassergemisch im Reagenzglas in die Pipette hinein und spüle die noch anhaftenden Blutreste aus.

Zur Enteiweißung gebe man aus einer genauen 1-ccm-Vollpipette 1,2% (gesättigte) Pikrinsäurelösung hinzu. Die Pikrinsäure bewahre man zweckmäßig in einer Glasstopfenflasche auf. Das gleiche gilt auch später von der zur Anwendung kommenden 10%igen Natronlauge. Hierdurch wird die Trübung der Ableseflüssigkeit durch feine Korkreste vermieden, welche die kolorimetrische Ablesung erschweren.

Nach gründlichem Durchschütteln des mit Pikrinsäure versetzten Blutes filtrieren wir das Gemisch und bedienen uns dabei eines kleinen Trichters und eines mitteldurchlässigen, runden Filters von 5,5 ccm Durchmesser (Schleicher & Schüll Nr. 589), um einen möglichst geringen Filtratverlust zu erzielen. Das Durchlaufen ist meist in etwa 3 Minuten beendet und es stehen uns bei exakter Arbeit 1,5 ccm Filtrat zur Verfügung.

Man filtriert am besten in ein feingraduiertes, 5 ccm enth. Maßzylinderchen hinein. Auf alle Fälle ist darauf zu achten, daß das nun enteiweißte Blut-Pikrinsäuregemisch vollkommen klar ist. Eine Trübung ist fast immer auf Überfließen über das Filtrierpapier zurückzuführen.

Das Filtrat wird nun im Verhältnis 10:1 mit 10%iger Natronlauge versetzt, also auf 1,5 ccm Filtrat kommen 0,15 ccm NaOH. Diese Mischung kochen wir nicht direkt über der Gasflamme (Flüssigkeitsverlust), sondern im Wasserbad 1½—2' auf. Wir haben nämlich durch zahlreiche Versuche festgestellt, daß der durch Aufkochen auf der Flamme entstandene Flüssigkeitsverlust beim Ablesen praktisch etwas ins Gewicht fällt.

Das Gemisch wird nun im Wasserbad abgekühlt, das Präzisionsröhrchen mit Hilfe einer Pipette gefüllt und in den Apparat eingesetzt. Die Röhrchen dürfen nicht mit heißer Flüssigkeit gefülllt werden, da sie sonst springen. Andere als eigens von der Firma für den Apparat gelieferte Gläschen sind für diesen Zweck ungeeignet.

Wir sehen nun durch die beiden Blendungsöffnungen gleichzeitig den Vergleichs-Farbkeil und das Blutzuckerröhrchen nebeneinander. Vor dem Ablesen ist die Lupe so einzustellen, daß beide Fenster dem Beobachter scharf erscheinen.

Man bringt alsdann durch Verschieben der Betrachtungsoptik beide Felder auf Farbengleichheit. Das genaue Einstellen erfolgt am besten durch nochmaliges Auf- und Abwärtsbewegen um den beobachteten Punkt gleichen Farbcharakters, und zwar einmal von oben und einmal von unten her.

Die Ableseskala ist auf Werte in mg % geeicht, jeder Teilstrich zu 25 mg, beginnend mit 0, endigend mit 600.

Die Ablesung geschieht bei hellem Wetter, am zweckmäßigsten 4—5 m vom Fenster entfernt, bei trübem Wetter unmittelbar am Fenster. Zu vermeiden ist das Ablesen hinter einem stark gefärbten Vorhang. Für Ungeübte ist empfehlenswert, mehrere Male kurz hintereinander abzulesen und daraus den Mittelwert zu berechnen.

Durch Interpolieren mit einem Millimeterstab lassen sich ganz genaue Blutzuckerwerte feststellen. Sollte der Flüssigkeitsspiegel bei übermäßig hohem Blutzucker in dem Röhrchen zu niedrig stehen, so hebe man dieses etwas an und schiebe seitlich ein leicht angespitztes Hölzchen als Keil daneben. In Laboratorien oder bei mehreren Bestimmungen ist die Benutzung mehrerer Vergleichsröhrchen zeitsparend.

Da bei längerem Stehenlassen des Blutwassergemisches der Blutzucker durch fermentativen Abbau abnimmt, empfiehlt es sich, die Lösung nicht länger als etwa ½ Stunde stehen zu lassen und möglichst schnell die Pikrinsäure hinzuzufügen.

Das Filtrat soll auch nach Zufügen der Natronlauge möglichst innerhalb einer halben Stunde gekocht werden. Die fertige Ablesefllüssigkeit bleibt, was Farbcharakter anbelangt, ziemlich konstant.

Die Ausführung einer Blutzuckerbestimmung erfordert durchschnittlich 6 Minuten; bei mehreren Bestimmungen gleichzeitig nimmt jede einzelne etwa 3—4 Minuten in Anspruch, was gegenüber der Hagedorn-Jensen-Methode eine erhebliche Zeitersparnis bedeutet.

III. Die Vergleichs-Versuche.

Einteilung.

1. a) Allgemeines über die Versuche;
   b) Herstellung der Vergleichs-Testlösungen und deren Anwendung;
2. Vergleiche von Traubenzucker-Testlösungen
   a) der Serie I und II mit der kolorimetrischen Methode;
   b) der Serie III mit der kolorimetrischen Methode und Hagedorn-Jensen gleichzeitig;
3. Vergleich von Patienten-Blutzuckerwerten zwischen der kolorimetrischen Methode und Hagedorn-Jensen;

4. Blutzuckerkurven nach Hagedorn-Jensen und ihr Vergleich mit der kolorimetrischen Methode.

1. a) Um ein klares Bild über die Verwendbarkeit der kolorimetrischen Methode zu gewinnen und die Fehler und Fehlergrenzen der Ablesungen genau zu bestimmen, haben wir eine große Anzahl Versuche (etwa 500) angestellt, in denen Traubenzuckertestlösungen abgelesen und auch Blutzuckerwerte nach Hagedorn mit der kolorimetrischen Methode verglichen wurden.

Ebenso sind im nächsten Kapitel die subjektiven Ablesefehler bei kolorimetrisch Geübten und Ungeübten nach Formeln berechnet, und ein Teil von Untersuchungen anhand von Kurven illustriert.

b) Zunächst wurden zum Vergleich 3 verschiedene Traubenzucker-Testlösungen benutzt und abgelesen. Um sämtliche Testlösungen mit größter Genauigkeit herzustellen, gingen wir aus von mehreren 500 mg % Traubenzuckerlösungen, die bereitet wurden durch 500 mg vorher im Exsikkator getrockneten, analysenreinen Traubenzucker und Auffüllen von aqua dest. in die betreffenden geeichten Meßzylinder bis auf 100 ccm.

Die Lösungen wurden mehrmals frisch hergestellt und nach der Hagedorn-Jensen-Methode zuerst nachgeprüft. Durch Verdünnen der 500 mg %igen Lösung mit der bestimmten Menge aqua dest. entstanden die oben erwähnten Testlösungen von der Konzentration: 50—75—100 usw. bis 500. Mit diesen wurden die kolorimetrischen Reaktionen ausgeführt, und zwar ohne Filtrieren, da das Gemisch kein Eiweiß enthält.

2. a) In jedem Fall wurden zwei voneinander unabhängige Bestimmungen gemacht. Abgelesen wurde bei Serie I von 5 Personen, davon 3 kolorimetrisch Geübten und zwei kolorimetrisch Ungeübten. In der Tabelle I geben die Zahlen die kolorimetrischen Ablesungen der verschiedenen Personen an.

Die Kurve I der Durchschnittsablesungen zeigt kaum eine Abweichung von der Kurve der tatsächlichen Werte.

Tabelle I.

Testzucker-lösung in mg %	Kolorimetrische Ablesung I	II	III	IV	V	Mittel-wert	Mittlerer Fehler der Einzelmessg.
50	55	50	50	55	—	53	3,16
	50	50	58	55	—	—	
75	75	75	75	70	—	76	3,75
	80	80					
100	100	100	100	—	105	—	2,17
125	128	125	125	130	—	127	2,4
	125	130	125				
150	150	150	150	—	—	151	2,23
	155		150				
175	169	180	175	185	—	177	5,73
	175						
200	205	200	195	205	—	200	3,6
	200	200	200				
225	230	230	230	—	—	230	0,0
	230	230					
250	255	250	255	—	—	255	3,46
	258	255	250				
275	270	275	275	—	280	274	4,23
	270						
300	295	295	300	305	305	301	4,8
	305	305					
325	330	330	325	320	—	326	3,9
	330	325	325				
350	355	350	350	360	—	352	4,4
	350	350					
375	370	370	375	370	—	371	2,55
	368	370	375	370			
400	410	405	415	415	—	407	6,9
	400	400					
450	460	450	450	455	—	453	4,1
	450	450					
500	500	500	500	—	—	500	0,0
	500	500	500	500			

I—V sind die einzelnen Ableser.

b) Um möglichst eine einseitige Verschiebung der Fehlergruppen auszuschließen, wurden bei der Serie II vollständig neue Testlösungen verwandt.

Auch bei der 2. Reihe ließen sich durchschnittlich dieselben Ergebnisse feststellen.

Ablesung und Kontrollablesung wurden von 5 Personen ausgeführt.

Tabelle IIa.

Traubenzucker-Testlösung	Kolorimetrische Ablesung I	II	III	IV	V
50	50	50	50	52	55
75	75	78	75	75	70
100	103	98	102	100	110
125	126	125	128	125	120
150	150	153	152	150	155
175	175	170	180	180	175
200	205	205	203	198	195
225	228	230	228	229	220
250	248	245	247	250	253
275	275	275	278	273	283
300	296	300	305	300	307
325	328	329	325	325	320
350	355	350	351	352	350
375	370	366	373	370	370
400	410	405	398	410	405
425	425	423	420	430	435
450	450	443	450	453	448
475	470	471	475	480	470
500	490	505	495	505	508

I—V sind die einzelnen Ableser.

Tabelle IIb.

Hagedorn-Jensen	Kolorimetrische Ablesung I	II		Unterschied zwischen C.-S. und H.-J.
129	135	130	=	+ 2,6%
110	109	110	=	— 0,6%
151	155	150	=	+ 1,0%
494	500	496	=	+ 1,0%
95	100	103	=	+ 6,3%
100	100	103	=	+ 1,5%
202	200	200	=	— 0,8%
104	100	100	=	— 4,0%
136	130	138	=	— 1,2%
121	120	125	=	+ 1,0%
150	152	153	=	+ 1,8%
141	138	138	=	— 2,0%
82	80	85	=	+ 0,2%
218	210	220	=	— 1,3%

I und II sind die Ableser.

c) Auch bei der Serie III haben wir neuhergestellte Traubenzuckerlösungen verwandt, und zwar diesmal die Testlösungen mit der kolorimetrischen Ablesung und mit Hagedorn-Jensen verglichen. (Siehe Tabelle III.)

Die Abweichung von den Normalwerten ist bei Hagedorn etwas geringer als bei der kolorimetrischen Methode.

Durchschnittlich decken sich aber beide Werte.

Tabelle III.

Vergleich zwischen Traubenzucker-Testlösung, Hagedorn und der kolorimetrischen Methode.

Traubenzucker-Testlösung	Hagedorn-Jensen-Wert	Kolorimetrische Ablesung I	II	III	IV	V	Durchschnittswert	Mittlerer Fehler der Einzelmessg.
50	51	55	50	53	58	55	54	3,94
		55	50	55	58	53	54	3,94
75	77	75	80	75	80	73	77	3,24
		70	75	73	83	73	75	9,92
100	100	98	100	100	110	105	103	4,9
	105	105	100	110	110	100	103	4,85
125	127	130	130	125	130	128	129	2,45
		130	130	122	125	120	125	4,67
150	149	153	150	150	155	150	152	2,35
		158	150	150	155	154	153	3,46
175	173	170	175	175	180	175	175	3,53
		170	175	182	175	175	177	4,64
200	197	210	200	205	208	195	202	6,12
		205	205	205	205	195	202	4,63
225	223	220	220	220	225	230	223	4,47
		220	225	218	230	230	225	5,58
250	251	245	255	250	255	256	252	4,66
		250	250	250	255	255	252	2,73
300	304	295	308	300	295		301	6,5
		300	305	300	296		302	4,06

I—V sind die einzelnen Ableser.

3. Außer diesen Untersuchungen mit Traubenzucker wurden auch eine große Anzahl kolorimetrischer Bestimmungen mit Blut von Gesunden und Diabetikern vorgenommen und mit Hagedorn-Jensen verglichen. Auch hierbei finden wir in der Tabelle IV nur kleine Abweichnungen von den Hagedorn-Proben, die kaum ins Gewicht fallen. Der erste Teil der Blutzuckerbestimmungen ist wieder von fünf Personen abgelesen, der zweite Teil nur von zwei Personen.

Tabelle IV.

Vergleich zwischen Hagedorn-Jensen und der kolorimetrischen Methode.

Hagedorn-Jensen mg %	Kolorimetrische Ablesung I	II	III	IV	V	Durchschnitt	Durchschn.-Fehler der Einzelmessg.
119	115	120	120	125	125	121	3,87
144	150	148	147	—	—	148	1,58
110	110	110	110	115	—	111	2,51
130	125	132	130	135	135	131	4,18
211	208	206	215	215	210	211	4,07
172	175	173	170	173	175	173	2,07
149	160	158	155	160	155	158	2,55
132	130	130	130	130	135	131	2,23
150	150	152	148	150	150	151	2,64
120	125	125	122	120	128	124	3,5
180	180	180	180	185	180	181	2,23
90	95	93	98	95	—	95	2,3
200	207	209	210	205	—	208	2,23
275	280	270	273	275	—	275	4,24
263	260	270	260	—	—	263	5,78
114	120	116	115	120	—	118	2,64

I—V sind die einzelnen Ableser.

4. Schließlich wurden noch vier Blutzuckerkurven nach Lävulose-Belastungen ausgeführt, und ebenfalls mit der Hagedorn-Jensen-Methode verglichen.

Auf die Nüchtern-Blutzuckerentnahme kurz vor 8 Uhr folgte nach 100 g Lävulose-Gabe die zweite Blutzuckerentnahme um 8½ Uhr, die dritte um 9 Uhr, die vierte um 10 Uhr, die fünfte um 11 Uhr.

Nach den Tabellen V—VIII sind die vier Lävulose-Belastungen mit je 5 Werten graphisch dargestellt worden und weisen auch hier eine selbst für eingehendere Untersuchungen völlig ausreichende Genauigkeit auf.

Tabelle V.

Lävulose-Belastung. I.

Blut-Entnahme um....Uhr	H.-J.	Kolorimetrische Ablesung I	II	III	IV	Durchschnittswert(Kol.)	Mittlerer Fehler der E.-Ablesung
I. 8	202	200	200	205	210	204	4,78
II. 8½	199	210	210	207	210	209	2,24
III. 9	200	202	198	—	210	203	6,11
IV. 10	385	425	425	—	430	427	2,91
V. 11	273	270	275	273	—	273	2,55

Tabelle VI.

II.

Blut-Entnahme um....Uhr	H.-J.	Kolorimetrische Ablesung I	II	III	IV	Durchschnittswert(Kol.)	Mittlerer Fehler der E.-Ablesung
I. 8	141	143	140	—	142	141	1,73
II. 8½	202	198	200	—	200	199	1,22
III. 9	220	225	225	—	220	223	2,92
IV. 10	260	260	260	—	262	261	0,224
V. 11	211	210	210	—	210	210	0,0

I—IV sind jedesmal die einzelnen Ableser.

Tabelle VII.

Lävulose-Belastung. III.

Blut-Entnahme um....Uhr	H.-J.	Kolorimetrische Ablesung I	II	III	IV	V	Durchschnitt	Mittlerer Fehler der E.-Ablesung
I. 8	131	132	135	135	130	133	133	3,8
II. 8½	134	135	130	133	135	130	133	2,55
III. 9	134	130	132	134	135	—	133	1,94
IV. 10½	112	118	120	120	123	—	120	2,7
V. 11	95	100	95	95	—	—	97	2,81

Tabelle VIII.

Lävulose-Belastung. IV.

I. nach Hagedorn:	251 Kol.	248	250	255	249
II. „ „	316 „	310	312	315	320
III. „ „	386 „	395	385	380	385
IV. „ „	423 „	425	430	430	430
V. „ „	385 „	390	380	390	390

I—V sind die kolorimetrischen Ableser.

IV. Die Ablesungsfehler.

Einteilung.

1. Die subjektiven Ablesefehler
   a) durch falsche Optikeinstellung;
   b) durch falsches Interpolieren;
2. Die Fehler durch Ablesen bei künstlichem Licht;
3. Die Fehler durch zu langes Kochen.

1. Bei Betrachtung der Tabellenwerte fallen uns, wenn auch unbedeutende, Differenzen auf, die stets bei Ablesung derselben Farblösung durch verschiedene Personen entstehen.

Auch bei mehrmaligem Ablesen derselben Flüssigkeit durch dieselbe Person kommen diese Abweichungen vor.

So schwanken z. B. die Ablesungen der Testlösung 50 mg % in der Serie I Reihe 1 zwischen 50 und 55, diejenigen der Testlösung 300 zwischen 295 und 305.

Es liegt nun sehr nahe, diese Fehler in Zusammenhang zu bringen mit irgendwelchen bestimmten, immer in demselben Sinn wirkenden Mängeln der kolorimetrischen Methode. Oder man ist auf den ersten Blick geneigt, vielleicht die Eichskala oder den Farbkeil oder irgendein Zubehörteil des Apparates dafür verantwortlich zu machen.

Wir sehen aber aus allen Kurven, daß die Werte niemals einseitig zu tief oder einseitig zu hoch abgelesen wurden, sondern jeder Beobachter liest einmal zu hoch, dann in einem anderen Fall einmal zu niedrig ab.

Den besten Beweis, daß die Schwankungen durchschnittlich gleichmäßig nach oben und unten gehen, gibt uns hier der Mittelwert, der bei allen Ablesungen berechnet wurde und unter dessen Benutzung auch die Kurven hergestellt wurden.

Wir sehen aus allen bildlichen Darstellungen, daß die Einzelergebnisse bald zu groß und bald zu klein sind. Es kann sich also unmöglich um sogenannte methodische Fehler handeln, d. h. objektive Fehler, begründet in der Methode an sich, sondern hier handelt es sich lediglich um rein persönliche oder subjektive Fehler, die ihre Ursache haben zum Teil in der absoluten Ungeübtheit der hierzu verwandten Beobachter, dann auch in Übermüdung des menschlichen Auges durch zu zahlreiche Ablesungen hintereinander.

Die Durchschnittsablesungen geben uns aber keinen Aufschluß über die Durchschnittsfehler der Einzelmessung. Zu ihrer Berechnung verwenden wir, wie es in der quantitativen Analysenberechnung üblich ist, die Formel:

$$F = \frac{S(f^2)}{n-1}.$$

Es handelt sich ja hier um zufällige Fehler, nicht aber um einseitige methodische Fehler.

In der Formel ist F = der Durchschnittsfehler der Einzelmessung; S(f) = die Summe der Fehlerquadrate, wobei f = jedesmal die Differenz zwischen Mittelwert und Ablesungswert bedeutet. Die Quadrate der errechneten negativen und positiven Fehler sind natürlich alle positiv; n = Anzahl der Ablesungen.

Wir haben nun unter Benutzung von der Traubenzucker-Serie I und III die mittleren Fehler der Einzelmessung berechnet, wie folgende Tabelle (IX) zeigt.

Tabelle IX.

Fehler-Berechnung.

Der mittlere Fehler der Einzelmessung beträgt bei den einzelnen Untersuchungsreihen:

Traubenzucker-Werte	Mittl. Fehler bei Reihe I	Mittl. Fehler bei Reihe II	Mittl. Fehler bei Reihe III	Durchschnitt der mittleren Fehler in mg
50	3,2	3,9	3,9	3,7
75	3,8	3,2	5,0	4,0
100	2,1	4,9	4,9	4,0
125	2,4	2,5	4,7	3,2
150	2,2	2,4	3,5	2,7
175	5,7	3,5	4,6	4,6
200	3,6	6,1	4,6	4,7
225	0,0	4,5	5,6	3,4
250	3,5	4,7	2,7	3,6
275	4,2	2,55	4,0	3,5
300	4,8	6,5	4,0	5,1
325	3,9	—	—	3,9
350	4,4	—	—	4,4
375	2,55	—	—	2,55
400	6,9	—	—	6,9
425	8,3	—	—	2,6
450	4,1	—	—	4,1
475	7,9	—	—	7,9
500	0,0	—	—	0,0

Die graphische Darstellung (Kurve II) zeigt uns eine durchschnittliche Kontinuität; und zwar bewegt sich die Kurve hauptsächlich um die Werte 3—5 mg Fehler, eine Zahl, die praktisch keine Bedeutung hat. Die Fehler steigen bei den höheren Blutzuckerwerten kaum an. Das heißt, sie nehmen prozentual mit steigender Konzentration ab.

Zum Vergleich zwischen einem kolorimetrisch Geübten und einem völlig Ungeübten ist folgende Tabelle mit Kurve III aufgestellt worden.

Die punktierte Kurve ist der ungeübte Ableser.

Eine weitere Fehlerquelle beim Ablesen bildet das falsche Interpolieren, d. h. die Betrachtungsoptik ist richtig eingestellt, nur die Berechnung der Zwischenwerte geschieht nicht mit der

nötigen Sorgfalt. Wir finden dies dadurch bewiesen, daß laut sämtlicher Tabellen alle Werte in der Nähe eines Teilstriches der Skala viel genauer abgelesen werden, als die Zwischenwerte.

Das Interpolieren ist lediglich eine Sache der Übung und wird sehr schnell erlernt. Legen wir auf ganz exakte Werte Gewicht, so fertigen wir uns eine genauere Ableseskala auf einem Pappstreifen an, auf welchem alle Teilstriche der Apparatskala nochmals in fünf Teile eingeteilt sind. Es bedeutet dann jeder Strich 5 mg %. Man achte bei der Anfertigung nur darauf, daß bei der Skala nicht alle Intervalle gleichlang geeicht sind.

2. Fehler durch Ablesen bei künstlichem Licht.

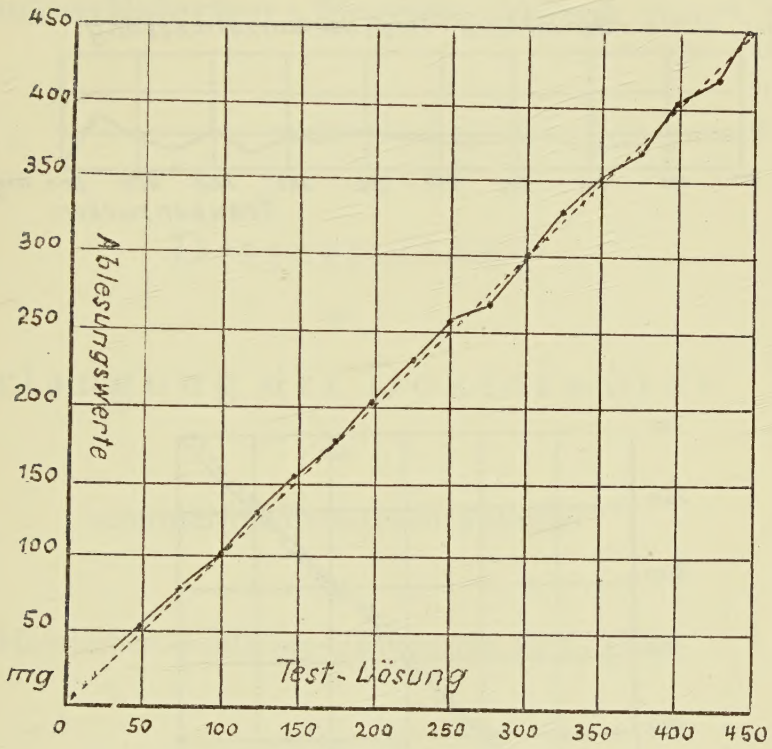
Die meisten kolorimetrischen Untersuchungen werden wohl bei Tageslicht gemacht, aber es treten doch Fälle ein, wo wir nur auf künstliche Beleuchtung angewiesen sind. Wir haben bei künstlicher Beleuchtung eine Reihe von Versuchen vorgenommen und gefunden, daß sich zum Ablesen am besten das weiße Licht eignet, wie es durch Gasglühbrenner und die modernen elektrischen Lampen mit nahezu weißglühenden Fäden verbreitet wird. Man muß sich in entsprechender Entfernung von der Lichtquelle aufstellen, um eine zu starke Beleuchtung der Vergleichsfelder zu vermeiden.

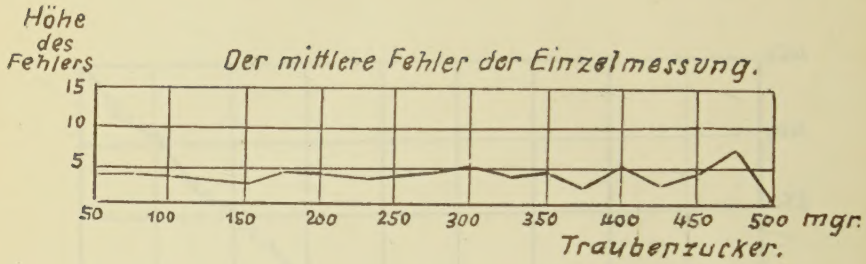
Abgelesen wurden die Lösungen bei natürlichem Licht und dann bei künstlichem Licht. Bei Benutzung einer verhältnismäßig weißen Lichtquelle wichen die Ablesungen von denen bei natürlichem Licht kaum voneinander ab.

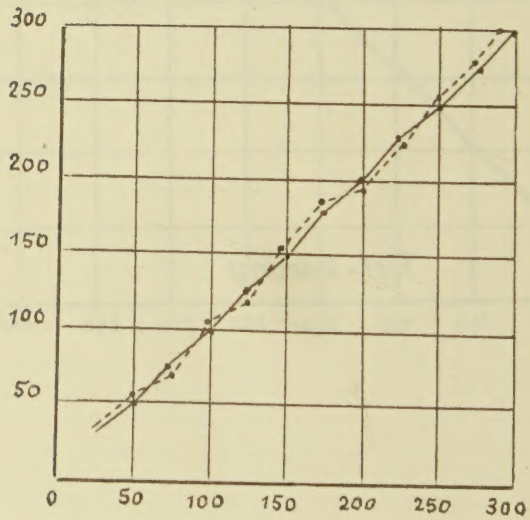
Wir haben dagegen bei Lichtquellen, die vornehmlich rötliches Licht ausstrahlen, wie z. B. alte Kohlenfaden- oder Petroleumlampen Ablesungsdifferenzen beobachtet, die bis zu 10 mg gehen.

Jede Metallfadenlampe sowie jedes Gasglühlicht ist für die kolorimetrische Untersuchung brauchbar, sofern nur beim Ablesen die richtige Entfernung von der Lichtquelle eingehalten wird.

3. Die Nachprüfung des Kolorimeters durch Dr. E. Wolfer auf Grund von 24 Vergleichsversuchen ergab laut Einleitung weit ungenauere Werte. Wir können uns diese Fehlablesungen nur dadurch erklären, daß das Blutwassergemisch nicht innerhalb einer halben Stunde gekocht worden ist. Im übrigen scheint der Flüssigkeitsverlust durch die Anwendung der verschieden langen Kochzeiten (1—8 Minuten) in gewissem Grade beeinflußt zu sein. Wir haben mit mehreren Blutzuckerlösungen deshalb dementsprechend Versuche angestellt, die uns bewiesen, daß es praktisch gleichgültig ist, ob man das Gemisch 1 oder 2 Minuten kocht. Der Flüssigkeitsverlust macht sich erst geltend, wenn das Kochen über 4—5 Minuten ausgedehnt wird. Ergänzt man den Flüssigkeitsverlust dementsprechend mit aqua dest., so werden die Ablesungen genau.


450
400
350
300
250
200
150
100
50
mg
Ablesungswerte
Test-Lösung
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450


Höhe des Fehlers
Der mittlere Fehler der Einzelmessung.
15
10
5
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
mgr.
Traubenzucker.


300
250
200
150
100
50
0
50
100
150
200
250
300